

С.М. Минин¹, Ж.Ж. Анашбаев¹, Н.В. Новикова¹, Е.А. Самойлова¹, С.И. Сазонова², Н.В. Салин^{1,3},
С.М. Коробейников³, Ю.Б. Лишманов⁴, В.Ю. Усов¹, А.М. Чернявский¹

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОФЭКТ/КТ С ^{99m}Tc-ТЕХНЕТРИЛОМ В СКРИНИНГЕ ОПУХОЛЕВЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ (РАК ЛЕГКОГО, РАК МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ) У ПАЦИЕНТОВ С ПАТОЛОГИЕЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

¹ НМИЦ им. Е.Н. Мешалкина, Новосибирск

² НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск

³ Новосибирский государственный технический университет НЭТИ, Новосибирск

⁴ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

Контактное лицо: Владимир Юрьевич Усов, e-mail: ussov1962@yandex.ru, usov_v@meshalkin.ru

РЕФЕРАТ

Актуальность: Предполагается, что при скрининговом использовании ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc-технетрилом у пациентов с подозрением на ИБС это исследование может выявить также сопутствующее онкологическое заболевание на доклинической до-метастатической стадии у тех пациентов, у кого возник, пока только на бессимптомной стадии, рак легкого или рак молочной железы.

Цель: Оценить возможности ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc-технетрилом как скринингового метода диагностики рака легкого и рака молочной железы как дополнительного при первичном обследовании пациентов на наличие ИБС.

Материал и методы: В исследование было включено 1127 пациентов (796 мужчин и 331 женщина), в возрасте 39–80 лет, которым амбулаторно в условиях отделения радионуклидной терапии и диагностики НМИЦ им. Акад. Е.Н. Мешалкина Минздрава России в период с апреля 2022 по октябрь 2024 г. было выполнено ОФЭКТ/КТ-исследование миокарда с ^{99m}Tc-технетрилом в ходе диагностики ИБС, которая полностью включала в себя область грудной клетки – от нижней части шеи до верха брюшной полости. Пациенты, у которых в силу основного направления – выявление ИБС – область сканирования целиком грудную клетку не охватывала, в исследование не включались. ОФЭКТ осуществлялась в матрицу 64×64 с оборотом детектора гамма-камеры на 180°, 32–64 проекции, и радиусом вращения 35–40 см, с набором не менее 50 тыс. коэффициента импульсов на каждую. Реконструировали до 50 поперечных томографических срезов сердца и грудной клетки, с учетом тканевого поглощения 0,12 см⁻¹. Выполнялся визуальный анализ на предмет наличия узловых патологических новообразований в легких с патологическим накоплением ^{99m}Tc-Технетрила. Выполнялся расчет величин опухолевого кровотока, как $R_{KpOp} = \frac{СПН_{99mTc-технетрил}}{МО / ВесТелаПациента} \times 100$, где $СПН_{99mTc-технетрил}$ – стандартизованная величина поглощения радиофармпрепарата, а МО – минутный объем сердечного выброса, в мл/мин, а 100 – коэффициент перевода для представления результата в привычных единицах мл/мин/100 г ткани. По данным накопления ^{99m}Tc-технетрила в органах и системах пациента с использованием методики расчета и программного обеспечения MIRД рассчитывалась лучевая нагрузка для ОФЭКТ, и также лучевая нагрузка, которую условливали рентгеновская КТ обследуемой области в бесконтрастном режиме и при дополнительном внутривенном контрастном усилении.

Результаты: При использовании ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc-технетрилом для диагностики ИБС, подтверждение диагноза направления было получено как проходящий дефект перфузии миокарда – у 23 % обследованных, у 7 % – как стойкий дефект перфузии. Наряду с ИБС у 9 пациентов (8 мужчин, 1 женщина) по данным ОФЭКТ/КТ грудной клетки ^{99m}Tc-технетрилом был выявлен клинически бессимптомный рак легкого (у 6 – центральный, у 3 – периферический), как узловое образование с патологическим поглощением этого радиофармпрепарата. У 6 пациентов с раком легкого отмечался относительно низкий кровоток в первичном узле опухоли, 14–25 мл/мин/100 г ткани (в среднем $19,5 \pm 3,5$ мл/мин/100 г ткани). Стадия заболевания составила у них: $T_1N_0M_0$ – у 2, $T_2N_0M_0$ – у 2, $T_3N_1M_0$ – у 1, $T_2N_1M_1$ – у 1. У трех из девяти пациентов с раком легкого кровотоки в первичном узле были значительно выше, в пределах 27–43 мл/мин/100 г ткани (в среднем $34,5 \pm 6,2$ мл/мин/100 г ткани). У них стадии заболевания $T_2N_1M_0$ – 2 пациента, $T_3N_2M_1$ – 1 пациент, что соответствовало известной взаимосвязи «высокий кровоток в первичной опухоли – выше вероятность метастазирования». Из обследованных в ходе настоящего исследования женщин у двух был выявлен клинически бессимптомный и впервые обнаруженный в ходе ОФЭКТ/КТ рак молочной железы, $T_2N_0M_0$ и $T_1N_1M_0$.

Выводы: Следует полагать, что ОФЭКТ/КТ сердца и грудной клетки с ^{99m}Tc-технетрилом может выступать не только как высокочувствительный маркер кровотока миокарда, обеспечивающий амбулаторную диагностику ИБС, но и для скринингового выявления опухолевой патологии органов грудной клетки, за счет онкотропности этого радиофармпрепарата, при одновременной минимизации лучевой нагрузки на пациента.

Ключевые слова: ОФЭКТ/КТ, ^{99m}Tc-технетрил, ИБС, скрининг, рак легкого, рак молочной железы, кардиоонкология

Для цитирования: Минин С.М., Анашбаев Ж.Ж., Новикова Н.В., Самойлова Е.А., Сазонова С.И., Салин Н.В., Коробейников С.М., Лишманов Ю.Б., Усов В.Ю., Чернявский А.М. Возможности использования ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc-технетрилом в скрининге опухолевых новообразований органов грудной клетки (рак легкого, рак молочной железы) у пациентов с патологией сердечно-сосудистой системы // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2025. Т. 70. № 6. С. 121–128. DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-6-121-128

S.M. Minin¹, Zh.Zh. Anashbaev¹, N.V. Novikova¹, E.A. SamoiloVA¹, S.I. Sazonova², N.V. Salin²,
S.M. Korobeinikov³, Yu.B. Lishmanov⁴, W.Yu. Ussov¹, A.M. Chernyavsky¹

The Possibilities of Employing SPECT/CT with ^{99m}Tc-MIBI in the Screening of Tumors of the Chest (Lung Cancer, Breast Cancer) in Patients with Pathology of the Cardiovascular System

¹ E.N. Meshalkin National Research Medical Center, Novosibirsk, Russia

² Scientific Research Institute of Cardiology, Tomsk, Russia

³ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

⁴ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Contact person: Wladimir Yuryevich Ussov, e-mail: ussov1962@yandex.ru, ussov_v@meshalkin.ru

SUMMARY

Background: It is assumed that with the screening use of SPECT/CT with ^{99m}Tc-MIBI in patients with suspected coronary heart disease, this study may also reveal concomitant cancer at the preclinical pre-metastatic stage in patients who have developed lung cancer or breast cancer, so far only at an asymptomatic stage.

Purpose: To evaluate the possibilities of SPECT/CT with ^{99m}Tc-MIBI as a screening method for the diagnosis of lung cancer and breast cancer in the mass examination of patients aged 42–75 years for coronary artery disease.

Material and methods: The study comprised 1127 patients (796 men and 331 women), aged 39–80 years, who were studied on an outpatient basis in the Department of Radionuclide Therapy and Diagnostics of the NMIC in the period from April 2022 to October 2024. An SPECT/CT examination of the myocardium with ^{99m}Tc-MIBI was performed during the diagnosis of coronary heart disease, which completely included the chest area, from the lower neck to the top of the abdominal cavity. Patients who, due to the main focus on the detection of coronary heart disease, did not cover the entire chest area were not included in the study. The SPECT was performed in a 64×64 matrix with 180° rotation of the gamma camera detector, 32–64 projections, and a rotation radius of 35–40 cm, with a set of at least 50,000 impulses per each. Up to 50 transverse tomographic sections of the heart and chest were reconstructed, taking into account the tissue absorption of 0.12 cm⁻¹. A visual analysis was performed for the presence of nodular pathology in the lungs with a uptake of ^{99m}Tc-MIBI. The tumor blood flow (PKpOn, ml) were calculated as $PKpOn = CPH_{^{99m}Tc-MIBI} \times (MO / BbodyWeightof Patient) \times 100$, where $CPH_{^{99m}Tc-MIBI}$ is the standardized uptake value of the radiopharmaceutical, and MO is the minute volume of cardiac output, in ml/min, and 100 is the conversion factor for representing the result in the usual units of ml/min/100 g of tissue. According to the uptake of ^{99m}Tc-MIBI in the organs and systems of the patient, the radiation dose for SPECT was calculated using the technique and the MIRD software, as well as the radiation dose provided by X-ray CT of the examined area, in contrast-free mode and with additional intravenous contrast enhancement.

Results: When using SPECT/CT with ^{99m}Tc-MIBI for the diagnosis of coronary heart disease, confirmation of the referral diagnosis was obtained as a transient defect of myocardial perfusion in 23 % of the examined patients, and in 7 % as a persistent defect in perfusion. Along with coronary heart disease, 9 patients (8 men, 1 woman) were diagnosed with clinically asymptomatic lung cancer (6 had central lung cancer, 3 had peripheral one) as a nodular formation with pathological absorption of this radiopharmaceutical. 6 patients with lung cancer had relatively low blood flow in the primary tumor node, 14–25 ml/min/100 g of tissue (on average, 19.5 ± 3.5 ml/min/100 g of tissue). The stage of the disease was as follows: T₁N₀M₀ – in 2, T₂N₀M₀ – in 2, T₃N₁M₀ – in 1, T₄N₁M₁ – in 1. In three out of nine patients with lung cancer, blood flow in the primary node was significantly higher, ranging from 27–43 ml/min/100 g of tissue (on average, 34.5 ± 6.2 ml/min/100 g of tissue). Their stages of the disease were T₂N₁M₀ – 2 patients, T₃N₂M₁ – 1 patient, which corresponded to the wellknown relationship “high blood flow in the primary tumor – higher probability of metastasis”. Of the women examined, two had clinically asymptomatic breast cancer, T₂N₀M₀ and T₁N₁M₀, which was first detected during this SPECT/CT.

Conclusions: It is reasonable to believe that SPECT/CT of the heart and chest with ^{99m}Tc-MIBI can act not only as a highly sensitive marker of myocardial blood flow, providing outpatient diagnosis of coronary heart disease, but also for screening detection of tumor pathology of the chest organs, due to the oncotropy of this radiopharmaceutical, while minimizing radiation exposure to the patient.

Keywords: SPECT/CT, ^{99m}Tc-MIBI, coronary heart disease, screening, lung cancer

For citation: Minin SM, Anashbaev ZhZh, Novikova NV, SamoiloVA EA, Sazonova SI, Salin NV, Korobeinikov SM, Lishmanov YuB, Ussov WYu, Chernyavsky AM. The Possibilities of Employing SPECT/CT with ^{99m}Tc-MIBI in the Screening of Tumors of the Chest (Lung Cancer, Breast Cancer) in Patients with Pathology of the Cardiovascular System. Medical Radiology and Radiation Safety. 2025;70(6):121–128. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-6-121-128

Введение

Рост распространенности рака легкого (РЛ) у мужчин и рака молочной железы (РМЖ) у женщин – одна из ведущих проблем сохраняющейся высокой смертности в России [1], при том что ишемическая болезнь сердца (ИБС) также безусловно остается важнейшей причиной смертности в России, в особенности среди лиц трудоспособного возраста [2]. Среди женщин ту же роль играет рак молочной железы [3].

Традиционно и глубоко обоснованно считается, что важнейшим «ключом» к снижению смертности от таких критических и в личном и в социально-медицинском плане заболеваний, как ИБС, рак легкого, рак молочной железы – является как можно более раннее их выявление

лучевыми методами исследования [4, 5], позволяющее осуществить радикальные лечебные процедуры, практически снимающие риск летального исхода и повышающие выживаемость до нормальных по популяции человек.

Такой подход – стремление к как можно более раннему и достоверному лучевому малоинвазивному или неинвазивному выявлению ИБС – привел в частности к тому, что место велоэргометрии в диагностике коронарной недостаточности сегодня занимает комплекс функциональных коронарных проб в сочетании с ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc-технетрилом, когда оказывается возможным прямо визуализировать дефекты коронарной перфузии в стеноз-зависимых регионах по сниженному локально-

му накоплению ^{99m}Tc -технетрила [6]. Ценность метода многократно возрастает, если КТ-компонент комбинированного ОФЭКТ/КТ сканера позволяет провести КТ-коронарографию и визуализировать стенозы коронарных артерий, а кроме того – оценить состояние и степень кальциноза коронарных бляшек.

Как было показано еще в середине 1990-х гг. [7] и широко сегодня используется в маммологической практике [8], ^{99m}Tc -технетрил обладает также высоким сродством к опухолевой ткани, и в частности – в первичных опухолях и метастазах при раке молочной железы [7] и раке легкого [9, 10].

Поэтому обоснованно предположить, что при широком массовом использовании ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом у пациентов с подозрением на ИБС это исследование может выявить сопутствующее онкологическое заболевание на доклинической до-метаболической стадии и фактически спасти жизнь пациента, а именно тем из них, у кого возник, но пока только на бессимптомной доклинической стадии, рак легкого или рак молочной железы.

Однако при этом в популяционном аспекте первоочередную роль приобретает вопрос о радиационной безопасности такого исследования [11] – сравнение лучевой нагрузки на органы и все тело пациента при ОФЭКТ/КТ исследовании с ^{99m}Tc -технетрилом, в сравнении с КТ – исследованием органов грудной клетки с внутривенным контрастным усилением, которая является некоторой методически более простой альтернативой ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом, в случае выявления патологических узловых новообразований, типичных для рака легкого [12].

Поэтому мы поставили цель – оценить возможности ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом как скринингового метода диагностики рака легкого и рака молочной железы как дополнительного при первичном обследовании пациентов на наличие ИБС. Одновременно оценивалась лучевая нагрузка на пациентов при проведении ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом и соответствие ее величин нормам радиационной безопасности [11].

Материал и методы

Пациенты. В исследование было включено 1127 пациентов (796 мужчин и 331 женщина), в возрасте 39–80 лет, которым амбулаторно в условиях отделения радионуклидной терапии и диагностики НМИЦ им. акад. Е.Н. Мешалкина Минздрава России в период с апреля 2022 по октябрь 2024 гг. было выполнено ОФЭКТ/КТ-исследование миокарда с ^{99m}Tc -технетрилом с функциональными пробами на предмет диагностики ИБС, при этом запись проекций ОФЭКТ и охват КТ-исследований полностью включал в себя анатомическую область грудной клетки – от нижней части области шеи, до верху брюшной полости (верхней половины печени). В ходе записи первичных планарных проекций ОФЭКТ/КТ-исследования легкие и средостение, а у женщин кроме того и молочные железы, подмышечные впадины и подключичная область, а также структуры средостения и загрудинные лимфатические узлы во всех случаях оказывались в пределах области сканирования. Пациенты, у которых в силу основного направления на исследование – выявление ИБС – область сканирования и реконструкции при ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом целиком грудную клетку не охватывала, в исследование не включались.

ОФЭКТ/КТ миокарда с ^{99m}Tc -технетрилом проводилась в сочетании с функциональной пробой – велоэргометрической, либо фармакологической с внутривенным

введением АТФ [6], и затем – с введением на пике пробы 570–740 МБк ^{99m}Tc -технетрила, приготовленного по инструкции производителя НПФ «Диамед».

Для последующей реконструкции аксиальных срезов сканирование ОФЭКТ осуществлялось начиная с правой передней косо́й проекции (РАО – 45°), в матрицу 64×64 пикселей, с оборотом детектора гамма-камеры на 180° и радиусом вращения 35–40 см. Время экспозиции на одну проекцию составило 20–30 с, с набором не менее 50 тыс. импульсов на проекцию, а общее число проекций, соответственно, 32–64 на 180° оборота вращения детектора. Для оценки и интерпретации результатов реконструировали до 50 поперечных томографических срезов сердца и грудной клетки, с полным ее охватом, с учетом тканевого поглощения с линейным коэффициентом поглощения γ -излучения 0,12 см⁻¹ [6], после чего реформировали сечения по длинной и короткой осям миокарда, а также в аксиальных, фронтальных и сагиттальных плоскостях грудной клетки. Выполнялся визуальный анализ на предмет наличия узловых патологических новообразований в легких с патологическим накоплением ^{99m}Tc -технетрила.

ОФЭКТ/КТ исследования сердца и органов грудной клетки проводили с помощью двухдетекторных гамма-камер GE Discovery NM/CT 670 DR (General Electric Medical), с использованием их пакетов прикладных программ обработки скинтиграфических изображений. Благодаря возможностям количественной оценки и расчетов по данным ОФЭКТ/КТ, имеющимся в системе GE Discovery NM/CT 670 DR, были определены органные величины накопления ^{99m}Tc -технетрила, а также величины стандартизованного показателя накопления (СПН, в англоязычной нотации – SUV, standardized uptake value). СПН определялась также и для опухолевых узлов у пациентов с выявленным при ОФЭКТ/КТ раком легкого. Выполнялся расчет величин опухолевого кровотока по ранее предложенному С.М. Мининим, Н.Г. Кривоноговым и Ю.Б. Лишмановым методу [10]. Кратко, кровоток в опухоли (РКрОп, мл/мин/100 г ткани) рассчитывался как

$$\text{РКрОп} = [(U_{\text{tum}} / D_{^{99m}\text{Tc-технетрил}}) \times 100 / V_{\text{tum}}] \times \text{МО},$$

где $D_{^{99m}\text{Tc-технетрил}}$ – полная активность введенного радиофармпрепарата, в МБк, МО – минутный объем сердечного выброса, в мл/мин, U_{tum} – накопление радиофармпрепарата в исследуемом регионе, в МБк, V_{tum} – объем исследуемого региона, в см³.

Поскольку показатель СПН определяется как:

$$\text{СПН}_{^{99m}\text{Tc-технетрил}} = (U_{\text{tum}} / V_{\text{tum}}) / (D_{^{99m}\text{Tc-технетрил}} / \text{ВесТелаПациента}),$$

то, подставляя его в представленное выше для опухолевого кровотока, получаем:

$$\text{РКрОп} = \text{СПН}_{^{99m}\text{Tc-технетрил}} \times (\text{МО} / \text{ВесТелаПациента}) \times 100$$

где 100 – коэффициент перевода для представления результата в привычных единицах мл/мин/100 г ткани.

Величина $\text{СПН}_{^{99m}\text{Tc-технетрил}}$ может быть определена с помощью современных цифровых CZT-томографических гамма-камер автоматически, используя регулярную калибровку источником с известной активностью. Необходимая для расчетов РКрОп величина МО определялась одновременно с ОФЭКТ/КТ, или в тот же день по данным стандартного ультразвукового исследования сердца [6].

По количественным данным накопления ^{99m}Tc -технетрила в органах и системах пациента, с использованием методики расчета и программного обеспечения MIRД [11, 12] рассчитывалась лучевая нагрузка на все тело и отдельные органы. Одновременно вычислялась также лучевая нагрузка, которую обеспечивала рентгеновская КТ обследуемой области, в обычном бесконтрастном режиме и при дополнительном внутривенном контрастном усилении.

Статистический анализ и графическое представление результатов исследования осуществлялось с использованием пакета статистических расчетов Origin 6.1 (OriginLab, Texas).

Результаты

При использовании ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом у наших пациентов для основного назначения – диагностики ИБС, подтверждение предположительного диагноза направления кардиолога с места жительства пациента было получено как преходящий дефект перфузии миокарда – у 23 % обследованных, при этом у 5 % из них (5 % относительно общего числа обследованных) наряду с преходящим дефектом перфузии, имел место также и постоянный дефект перфузии. У 7 % обследованных наличие ИБС проявлялось при ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом как стойкий постоянный дефект перфузии, без признаков преходящего дефекта, очевидно в исходе перенесенного в прошлом ишемического коронарного эпизода. У 9 % пациентов клинически типичная картина ИБС не сопровождалась дефектами перфузии миокарда, ни при функциональной нагрузке, ни при ОФЭКТ/КТ исследований в покое, но при этом у них всех отмечались достоверно патологически повышенные величины индекса Агатстона при оценке степени кальцификации стенок коронарных артерий.

Наряду с диагностикой ИБС, у 9 пациентов (8 мужчин, 1 женщина) по данным ОФЭКТ/КТ грудной клетки ^{99m}Tc -технетрилом был выявлен клинически бессимптомный рак легкого (у 6 – центральный, у 3 – периферический), как узловое образование с патологическим поглощением этого радиофармпрепарата.

У 6 пациентов отмечался относительно низкий кровоток в первичном узле опухоли, в пределах 14–25 мл/мин/100 г ткани (в среднем $19,5 \pm 3,5$ мл/мин/100 г ткани) при этом стадия заболевания составила, соответственно: $T_1N_0M_0$ – у 2 пациентов, $T_2N_0M_0$ – у 2, $T_3N_1M_0$ – у одного, $T_2N_1M_1$ – у 1 пациента. Типичный пример картины ОФЭКТ/КТ органов грудной клетки у такого пациента представлен на рис. 1.

У трех из девяти пациентов с раком легкого кровоток в первичном узле был значительно выше, составляя в пределах 27–43 мл/мин/100 г ткани (в среднем $34,5 \pm 6,2$ мл/мин/100 г ткани). Стадии заболевания у них, соответственно, составили $T_2N_1M_0$ – 2 пациента, $T_3N_2M_1$ – 1 пациент.

Учитывая всю статистическую условность объединения пациентов в единую группу с общей численностью пациентов всего в три человека, мы тем не менее их вместе отделяли от остальных именно как лиц с повышенным опухолевым кровотоком, поскольку у них, при всей малости выборки, одновременно с большим кровотоком в первичном узле, более тяжелой была и степень метастатической распространенности опухолевого процесса по TNM. Типичный пример ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом у такого пациента представлен на рис. 2.

Далее, из общего количества обследованных, у двух женщин был выявлен клинически бессимптомный и впервые обнаруженный в ходе данного исследования рак

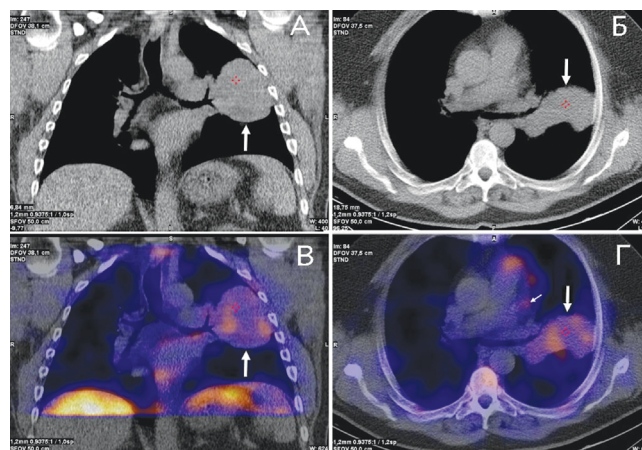


Рис. 1. Картина визуализации при ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом в случае скринингового выявления центрального рака левого легкого с опухолевым кровотоком 16 мл/мин/100 г ткани. Размер первичного узла 54 мм × 61 мм × 35 мм, с вероятным (сомнительным) поражением лимфатического узла корня левого легкого (соответственно $T_3N_2M_0$). Представлены аксиальные томографические срезы – рентгеновской КТ грудной клетки в фронтальной (А) и аксиальной (Б) плоскостях, и совмещенной ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом, также – фронтальной (В) и аксиальной (Г). Узловое опухолевое включение – первичный узел центрального рака левого легкого отмечено длинными тонкими стрелками, предположительное (слабоинтенсивное, но очаговое) включение в пораженный лимфоузел корня левого легкого – короткой тонкой стрелкой (рис. 2Г)

Fig. 1. Imaging picture with SPECT/CT with ^{99m}Tc -MIBI in the case of screening detection of central cancer of the left lung with low tumor blood flow (16 ml/min/100 g of tissue). The size of the primary node is 54 mm × 61 mm × 35 mm, with a probable (doubtful) lesion of the lymph node of the root of the left lung (respectively $T_3N_2M_0$). Axial tomographic sections are presented – X-ray CT of the chest in the frontal (A) and axial (B) planes, and combined SPECT/CT with ^{99m}Tc -MIBI, also frontal (C) and axial (D). The nodular tumor uptake – the primary node of the central cancer of the left lung – is marked with long thin arrows, the presumptive (low – intensity, but focal) uptake to the lymph node of the root of the left lung is marked with a short thin arrow (Fig. 2G)

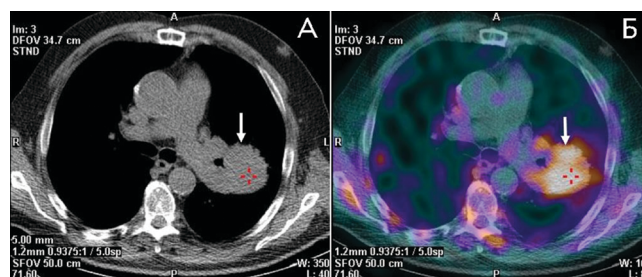


Рис. 2. Картина визуализации при ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом в случае скринингового выявления центрального рака левого легкого с высоким опухолевым кровотоком (43 мл/мин/100 г ткани). Размер первичного узла 43 мм × 41 мм × 37 мм, с поражением лимфатических узлов корня левого легкого и отдаленным метастатическим поражением позвонка Th4 (соответственно $T_3N_2M_1$). Представлены аксиальные томографические срезы на уровне бифуркации легочной артерии – рентгеновской КТ грудной клетки (А), и совмещенной ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом (Б). Узловое опухолевое включение – первичный узел центрального рака левого легкого отмечен длинными тонкими стрелками, включение в пораженные лимфоузлы корня левого легкого – короткими тонкими стрелками (рис. 2Б), пораженный позвонок Th4 – короткой толстой стрелкой (рис. 2Б)

Fig. 2. Imaging picture with SPECT/CT with ^{99m}Tc -MIBI in the case of screening detection of central cancer of the left lung with high tumor blood flow (43 ml/min/100 g of tissue). The size of the primary node is 43 mm × 41 mm × 37 mm, with involvement of the lymph nodes of the root of the left lung and distant metastatic damage to the Th4 vertebra (respectively, making staging of the disease as $T_3N_2M_1$). Axial tomographic sections at the level of the pulmonary artery bifurcation are presented – X-ray CT of the chest (A) and fusion SPECT/CT with ^{99m}Tc -MIBI (B). The nodular tumor uptake – the primary node of the central cancer of the left lung is marked with long thin arrows, the uptake to the involved lymph nodes of the root of the left lung – with short thin arrows (Fig. 2B), the metastatically affected vertebra Th4 – with a short thick arrow (Fig. 2B)

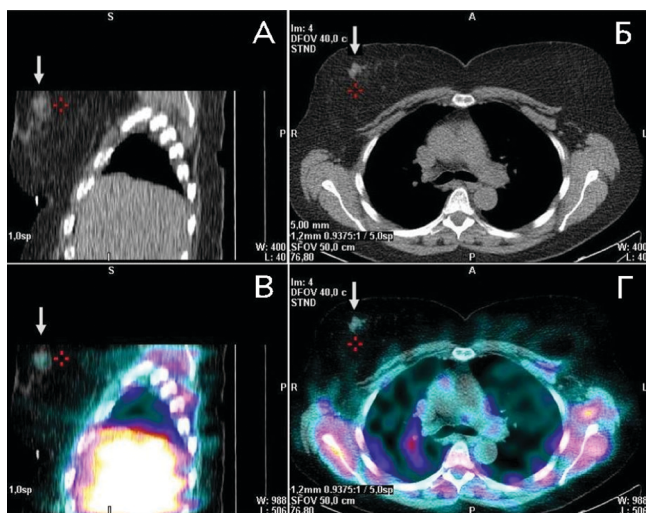


Рис. 3. ОФЭКТ/КТ-изображения с ^{99m}Tc -технетрилом при скрининговом выявлении бессимптомного непальпируемого рака молочной железы, справа, в наружном верхнем квадранте, размер данного первичного узла до $21 \times 11 \times 9$ мм (соответствия $T_2N_0M_0$). Представлены томографические срезы рентгеновской КТ грудной клетки (А – сагиттальный справа, Б – трансаксиальный) и совмещенной ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом (В – сагиттальный справа по передней подмышечной линии, Г – трансаксиальный). Узловое опухолевое включение в толще молочной железы справа отмечено на всех сканах стрелками. Опухолевый кровоток 21 мл/мин/100 г ткани. При последующем гистологическом исследовании – низкодифференцированная аденокарцинома

Fig. 3. Imaging pictures of SPECT/CT with ^{99m}Tc -MIBI in the case of screening revealing of asymptomatic non-palpable breast cancer, on the right, in the outer upper quadrant, the size of this primary node is up to $21 \times 11 \times 9$ mm ($T_2N_0M_0$). Tomographic sections of chest X-ray CT (A – sagittal on the right, B – transaxial) and combined SPECT/CT with ^{99m}Tc -MIBI (B – sagittal on the right along the anterior axillary line, Г – transaxial) are presented. The nodular tumor uptake in the breast on the right is marked with arrows on all scans. Tumor blood flow is 23 ml/min/100 g of tissue. Subsequent histological examination revealed a low-grade adenocarcinoma

молочной железы, стадий $T_2N_0M_0$ и $T_1N_1M_0$. Визуальная картина исследования ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом у одной из них ($T_2N_0M_0$) представлена на рис. 3.

Впоследствии (у всех – не позднее, чем в течение недели после ОФЭКТ/КТ исследования грудной клетки с ^{99m}Tc -технетрилом, выявившего наличие опухолевой патологии), пациенты были консультированы врачом-онкологом отделения радиотерапии НМИЦ им. акад. Е.Н. Мешалкина, с подтверждением диагноза в ходе комплексного обследования, в том числе — и тонкоигольной биопсии с последующим цитологическим и гистологическим анализом биоптата.

У всех пациентов с выявленной опухолевой патологией легких и молочных желез была проведена неоадьювантная химиотерапия в соответствии с гистологической формой – результатами иммуногистохимического анализа по данным тонкоигольной биопсии. У 8 из 9 пациентов с выявленным клинически бессимптомным раком легкого основным методом лечения было проведение наружной гамма-терапии в высоких дозах – стереоабляционной терапии, а один пациент, у которого заболевание было выявлено на стадии $T_1N_0M_0$, был успешно прооперирован, с последующей адьювантной химиотерапией. В настоящее время все эти пациенты живы.

Обе пациентки с выявленным при ОФЭКТ/КТ сердца и грудной клетки с ^{99m}Tc -технетрилом бессимптомным раком молочной железы были успешно и радикально прооперированы, впоследствии получали адьювантную химиотерапию, в настоящее время находятся под

диспансерным наблюдением, рецидивов заболевания молочной железы у них за период послеоперационного наблюдения отмечено не было. Таким образом, все пациенты, у которых ОФЭКТ/КТ сердца и грудной клетки с ^{99m}Tc -технетрилом обеспечила раннее доклиническое (скрининговое) выявление опухолевых поражений и оказалась жизненноспасающей, находятся в состоянии устойчивой ремиссии.

При расчете лучевых нагрузок оказалось, что при рентгеновском КТ-исследовании без дополнительного контрастирования эффективная доза составляет 7,1 мЗв при напряжении на рентгеновской трубке 140 кВ, а при КТ с контрастным усилением, учитывая, что повторное сканирование осуществляется в артериальную, венозную, а как правило и отсроченную фазу – до 28 мЗв. Эффективные дозы внутреннего облучения пациентов при внутривенном введении радиофармпрепарата из расчета на единицу введенной активности, при ОФЭКТ/КТ сердца и грудной клетки с ^{99m}Tc -технетрилом составили 0,0083 мЗв/МБк, т. е. при активности 570 МБк – соответственно 4,48 мЗв, то есть достоверно и существенно меньше величин доз, которые оказываются поглощены при самостоятельной рентгеновской КТ грудной клетки с контрастным усилением.

Обсуждение

Несмотря на достигнутые успехи в борьбе с раком легкого как одной из важнейших причин смертности мужского трудоспособного населения, показатели заболеваемости и, в особенности, смертности при этой патологии остаются неприемлемо высокими и сопровождаются весьма значительными экономическими потерями [1, 13]. Как показывает опыт популяционных исследований, наиболее существенным путем снижения смертности от рака легкого являются его как можно более раннее выявление и точная оценка стадии заболевания – единственный залог успешной тактики лечения у этих пациентов [13, 14]. В свое время крупнейшим достижением в скрининге рака легкого и других заболеваний легких было внедрение в широкую практику флюорографии, однако со временем сегодня ограничения и исчерпанность возможностей этого метода стали совершенно ясны [13, 14]. Следующим важнейшим и полностью себя оправдавшим и безусловно выдающимся отечественным достижением стало внедрение для скрининга низкодозной компьютерной томографии, которая во многих регионах России заменила собой флюорографические и другие планарные методы рентгенографии практически полностью [13, 15].

Однако важность задачи выявления опухолей грудной клетки такова, что дальнейшая разработка новых или модификация существующих методов томографической визуализации патологии грудной клетки выглядит сегодня в любом случае оправданной. Одним из возможных подходов может быть использование для скрининга томографических методов, показанием для которых являются другие заболевания, но физическая сущность и принципы которых позволяют визуализировать злокачественные новообразования. Аналогией здесь является МРТ головного мозга, при которой исследования по поводу церебральной сосудистой патологии зачастую позволяют выявить на ранних стадиях объемную опухолевую патологию головного мозга [16].

Мы здесь предположили, что для выявления опухолевой патологии легких и молочной железы может быть использована ОФЭКТ/КТ-диагностика ИБС с использованием ^{99m}Tc -технетрила – радиофармпрепарата с высокой интенсивностью поглощаемого миокардом и

надежно визуализирующего ИБС средствами ОФЭКТ и ОФЭКТ/КТ [6, 17, 18], так и опухолевыми новообразованиями различных локализаций [7, 9, 10], и который как раз используется для массовых скрининговых обследований на нарушения коронарного кровообращения. Использование ^{99m}Tc -Технетрила сегодня практически одинаково по объему в собственно кардиологических исследованиях, и в онкологии – в качестве опухолетропного препарата, для визуализации злокачественных новообразований как при первичном их выявлении, так и при контроле эффективности лечения [19, 20]. ^{99m}Tc -Технетрил является маркером усиленного опухолевого кровотока [7, 14, 19], и поэтому позволяет визуализировать опухоли легких и молочных желез на ранних стадиях, до достижения размеров узла в 8–12 мм [10], когда первыми признаками опухолевой трансформации как раз являются усиление метаболизма глюкозы и опухолевый неангиогенез [21]. Как показано на весьма многочисленном статистическом клиническом материале, экспрессия соответствующих генов и формирование неангиогенеза в опухолевой ткани является наиболее ранним проявлением малигнизации при раке молочной железы, в особенности при гистотипах HER2+ [8].

При раке легкого ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc -технетрилом также отражает жизнеспособность опухоли и служит для контроля эффективности комплексной противоопухолевой терапии [10]. Обоснованно использование ОФЭКТ/КТ в качестве не только уточняющего и дифференциально-диагностического метода при раке легкого, но и как метода его скрининга. В качестве самостоятельного метода пока такое предположение спорно, однако в роли дополнения к кардиологическому применению ОФЭКТ/КТ, оно не только не вызывает возражений, но и может быть обязательным.

Частота выявления в нашей популяции соответствует среднепопуляционной заболеваемости в сравнимых возрастных группах – 9 промилле для рака легкого и 2 промилле при РМЖ [1]. При этом следует подчеркнуть, что в силу «дополнительного» характера нашего исследования, и чисто кардиологического направления на исследование со стороны первичного поликлинического кардиологического звена, далеко не у всех наших пациентов анатомический охват области реконструкции ОФЭКТ/КТ включал грудную клетку полностью. В случае проспективного исследования, то есть при фокусе

внимания на собственно кардиологическом выявлении ИБС, тем не менее полная реконструкция должна осуществляться по всему объему грудной клетки, чтобы не упустить наличие узлового новообразования с повышенной аккумуляцией Технетрила.

Социальное значение предложенного метода проявилось в нашем исследовании совершенно очевидно – все выявленные пациенты с бессимптомными раком легкого и раком молочной железы не просто живы, но у всех сохранена и работоспособность. Поэтому предложенный здесь метод скрининга РЛ и РМЖ заслуживает и большего по объему и отбору пациентов – вероятно межцентрового – исследования. Это в первую очередь подкрепляется еще и тем, что лучевая нагрузка при ОФЭКТ/КТ-исследованиях грудной клетки существенно меньше, чем при самостоятельной КТ с контрастированием. Поэтому при обнаружении в ходе первичного неконтрастированного КТ грудной клетки на ОФЭКТ/КТ-сканере узлового образования в легких обоснованно продолжение исходной КТ не в сторону введения рентгеновского контраста и ее повторения, а именно как ОФЭКТ с ^{99m}Tc -технетрилом, с оценкой его локального накопления. Кроме того, в силу уникальной особенности ^{99m}Tc -технетрила как препарата «химических микросфер» сразу же оказывается возможным рассчитать важнейший параметр – опухолевый кровоток в абсолютных физиологических единицах (т. е. как мл/мин/100 г ткани).

С технологической точки зрения нет сомнений что на более современных, сейчас как раз входящих в широкое клиническое использование моделях ОФЭКТ/КТ сканеров на основе кольцевидных CZT-детекторов для всего тела, которые и быстрее, и чувствительнее современных модификаций планарных детекторов, предложенный подход может быть реализован с большей эффективностью.

Заключение

Таким образом, следует полагать, что ОФЭКТ/КТ сердца и грудной клетки с ^{99m}Tc -технетрилом может выступать не только как высокочувствительный тест кровотока миокарда, обеспечивающий амбулаторную диагностику ИБС, но и для скринингового выявления опухолевой патологии органов грудной клетки, за счет онкотропности этого радиофармпрепарата, при одновременной минимизации лучевой нагрузки на пациента.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Важенин А.В., Новикова С.В., Тюков Ю.А. Онкоэпидемиологическая ситуация в Российской Федерации и в мире на основе анализа показателей ведущих злокачественных новообразований населения // Менеджер здравоохранения. 2025. №3. С. 135-144. doi: 10.21045/1811-0185-2025-3-135-144. EDN CATZLU.
2. Шляхто Е.В., Баранова Е.И. Основные направления снижения сердечно-сосудистой смертности: что можно изменить уже сегодня? // Российский кардиологический журнал. 2020. Т.25. №7. С. 10-18. doi: 10.15829/1560-4071-2020-3983.
3. Федоров Н.М., Павлова В.И., Абалканова М.М., Сияжков А.Г. Динамика заболеваемости и смертности от рака молочной железы в Российской Федерации и Тюменской области за период 2019-2023 гг // Тюменский медицинский журнал. 2024. Т.26. №2. С. 26-30. EDN IUWVNY.
4. Бушманов А.Ю., Кретов А.С., Калинина М.Ю., Власова И.В., Ломтева А.А., Гугина А.А., Царев А.Н., Денисова Е.А., Солорева М.А., Самойлов А.С. Медицинские осмотры и психофизиологическое тестирование персонала атомной отрасли как средство профилактики радиационных аварий // Медицина катастроф. 2021. №3. С. 20-23.
5. Гомболевский В.А., Барчук А.А., Лайпан А.Ш., Ветшева Н.Н., Владзимирский А.В., Морозов С.П. Скрининг рака легких с помощью низкодозной компьютерной томографии: организация и эффективность // Радиология - Практика. 2018. Т.1. №67. С. 28-36.
6. Аншелес А.А., Сергиенко В.Б. Ядерная кардиология. М.: Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии, 2021. 516 с. EDN VFDVIL.
7. Усов В.Ю., Ряннель Ю.Е., Михайлович Я.М., Слонимская Е.М., Величко С.А. Маммасцинтиграфия: основы, протоколы, клиническое применение // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 1999. Т.44. №3. С. 72-82. EDN MPDAQN.
8. Попова Н.С., Новиков С.Н., Крживицкий П.И., Жукова Л.А., Криворотко П.В., Артемьева А.С., Валитова А.А., Хоршавина А.А., Черная А.В., Брянцева Ж.В., Акулова И.А., Михнин А.Е., Яганова Т.С., Канаев С.В. Диагностические возможности маммосцинтиграфии в выявлении мультицентрического и минимального рака молочной железы различных молекулярных подтипов // Вопросы онкологии. 2023. Т.69. №4. С. 708-714. doi:10.37469/0507-3758-2023-69-4-708-714

9. Стуканов С.Л., Усов В.Ю., Коломиец С.А., Ряннель Ю.Е., Величко С.А., Зырянов Б.Н. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография с ^{99m}Tc-технетрилом при раке легкого // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 1996. Т.41. №6. С. 11-15. EDN MOVAXT.
10. Минин С.М., Анашбаев Ж.Ж., Самойлова Е.А., Жеравин А.А., Усов В.Ю., Красильников С.Е., Чернявский А.М. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ/КТ) с ^{99m}Tc-технетрилом в стадировании, планировании дистанционной лучевой терапии и наблюдении при раке легкого: клинический случай и случай – адресный обзор литературы // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2023. Т.68. №5. С. 96–104. doi: 10.33266/1024-6177-2023-68-5-96-104
11. Наркевич Б.Я., Костылев В.А., Левчук А.В., Долгущин Б.И., Ткачев С.И., Ширьев С.В. Радиационная безопасность в медицинской радиологии. Часть 2 // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2009. Т.54. №3. С. 46-57. EDN TEAELV.
12. Маткевич Е.И., Ситинцын В.Е., Зеликман М.И., Кручинин С.А., Иванов И.В. Основные направления снижения доз облучения пациентов при компьютерной томографии // REJR 2018. Т.8. №3. С. 60-73. doi: 10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73
13. Гомболевский У.А., Чернина В.Ю., Блохин И.А., Николаев А.Е., Барчук А.А., Морозов С.П. Основные достижения низкодозной компьютерной томографии в скрининге рака легких // Туберкулез и болезни легких. 2021. Т.99. №1. С. 61-70. doi: 10.21292/2075-1230-2021-99-1-61-70.
14. Золотницкая В.П. 100 лет развития радионуклидной диагностики. Исследование микроциркуляции легких // Региональная гемодинамика и микроциркуляция. 2024. Т.23. №4. С. 139–148. doi.org/10.244884/1682-6655-2024-23-4-139-148
15. Березников А.В., Шкитин С.О., Тюрин И.Е. Возможности рентгенографии органов грудной клетки в первичной диагностике рака легкого // Журнал радиологии и ядерной медицины. 2024. Т.105. №3. С.149–155. doi: 10.20862/0042-4676-2024-105-3-149-155.
16. Ladak A.A., Sandhu S., Itrat A. Use of Intravenous Thrombolysis in Acute Ischemic Stroke Management in Patients with Active Malignancies: A Topical Review // J Stroke Cerebrovasc Dis. 2021. V.30. No.6. P. 105728. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.105728.
17. Slart R.H., Bax J.J., van Veldhuisen D.J., van der Wall E.E., Dierckx R.A., Jager P.L. Imaging Techniques in Nuclear Cardiology for the Assessment of Myocardial Viability // Int J Cardiovasc Imaging. 2006. V.22. No.1. P. 63-80. doi:10.1007/s10554-005-7514-8.
18. Medical Advisory Secretariat. Magnetic Resonance Imaging (MRI) for the Assessment of Myocardial Viability: an Evidence-Based Analysis // Ont Health Technol Assess Ser. 2010. V.10. No.15. P. 1-45.
19. Усов В.Ю., Бабилов В.Ю., Минин С.М., Сухов В.Ю., Костеников Н.А., Лучич М.А., Самойлова Е.А., Жеравин А.А., Чернявский А.М. Количественная ОФЭКТ головного мозга с ^{99m}Tc-технетрилом в диагностике, оценке эффективности комплексной терапии низкоккачественных глиом и прогнозе жизни пациентов // Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова. 2023. Т.15. №С1. С. 26-27. EDN QGPXKZ.
20. Scopinaro F., Schillaci O., De Vincentis G., Danieli R., Ierardi M, Picardi V, Tavolaro R, Colella AC, Ussov W, Nordling K, Capoferro R.A. A Three Center Study on the Diagnostic Accuracy of ^{99m}Tc-MIBI Scintimammography // Anticancer Research. 1997. V.17. No.3B. P. 1631-1634. EDN LEJMJT.
21. Zhang S., Liu Y. Diagnostic Performances of ^{99m}Tc-Methoxy Isobutyl Isonitrile Scan in Predicting the Malignancy of Lung Lesions: A Meta-Analysis // Medicine (Baltimore). 2016. V.95. No.18. P. e3571. DOI: 10.1097/MD.0000000000003571.

REFERENCES

1. Vazhenin A.V., Novikova S.V., Tyukov Yu.A. Oncoepidemiological Situation in the Russian Federation and in the World Based on the Analysis of Indicators of Leading Malignant Neoplasms of the Population. *Menedzher Zdravookhraneniya* = Health Care Manager. 2025;3:135-144. doi: 10.21045/1811-0185-2025-3-135-144 (In Russ.). EDN CATZLU.
2. Shlyakhto Ye.V., Baranova Ye.I. The Main Directions for Reducing Cardiovascular Mortality: what Can be Changed Today? *Rossiyskiy Kardiologicheskiy Zhurnal* = Russian Journal of Cardiology. 2020;25;7:10-18 (In Russ.). doi: 10.15829/1560-4071-2020-3983.
3. Fedorov N.M., Pavlova V.I., Abalkanova M.M., Sinyakov A.G. Dynamics of Incidence and Mortality from Breast Cancer in the Russian Federation and the Tyumen Region for the Period 2019-2023. *Tyumenskiy Meditsinskiy Zhurnal* = Tyumen Medical Journal. 2024;26;2:26-30. EDN IUWVHY.
4. Bushmanov A.Yu., Kretov A.S., Kalinina M.Yu., Vlasova I.V., Lomteva A.A., Gugina A.A., Tsarev A.N., Denisova Ye.A., Soloreva M.A., Samoylov A.S. Medical Examinations and Psychophysiological Testing of Nuclear Industry Personnel as a Means of Preventing Radiation Accidents. *Meditsina Katastrof* = Disaster Medicine. 2021;3:20-23 (In Russ.).
5. Gombolevskiy V.A., Barchuk A.A., Laypan A.Sh., Vetsheva N.N., Vladzimirskiy A.V., Morozov S.P. Lung Cancer Screening Using Low-Dose Computed Tomography: Organization and Efficiency. *Radiologiya – Praktika* = Radiology and Practice. 2018;1;67:28-36 (In Russ.).
6. Anshele A.A., Sergiyenko V.B. *Yadernaya Kardiologiya* = Nuclear Cardiology. Moscow, Natsional'nyy Meditsinskiy Issledovatel'skiy Tsentr Kardiologii Publ., 2021. 516 p. (In Russ.).
7. Usov V.Yu., Ryannel' Yu.Ye., Mikhaylovich Ya.M., Slonimskaya Ye.M., Velichko S.A. Mammascintigraphy: Fundamentals, Protocols, Clinical Application. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 1999;44;3:72-82 (In Russ.). EDN MPDAQN.
8. Popova N.S., Novikov S.N., Krzhivitskiy P.I., Zhukova L.A., Krivorot'ko P.V., Artem'yeva A.S., Valitova A.A., Khoroshavina A.A., Chernaya A.V., Bryantseva Zh.V., Akulova I.A., Mikhnin A.Ye., Yaganova T.S., Kanayev S.V. Diagnostic Capabilities of Mammoscintigraphy in Detecting Multicentric and Minimal Breast Cancer of Various Molecular Subtypes. *Vo-prosy Onkologii* = Problems in Oncology. 2023;69;4:708-714 (In Russ.). doi:10.37469/0507-3758-2023-69-4-708-714.
9. Stukanov S.L., Usov V.YU., Kolomiyets S.A., Ryannel' YU.Ye., Velichko S.A., Zyryanov B.N. Single-Photon Emission Computed Tomography with ^{99m}Tc-Technetrite in Lung Cancer. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 1996;41;6:11-15 (In Russ.). EDN MOVAXT.
10. Minin S.M., Anashbayev Zh.Zh., Samoylova Ye.A., Zheravin A.A., Usov V.Yu., Krasil'nikov S.Ye., Chernyavskiy A.M. Single-Photon Emission Computed Tomography (SPECT/CT) with ^{99m}Tc-Technetrite in Staging, Planning External Beam Radiotherapy and Monitoring of Lung Cancer: a Clinical Case and a Case-Addressed Literature Review. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2023;68;5:96–104 (In Russ.). doi: 10.33266/1024-6177-2023-68-5-96-104.
11. Narkevich B.Ya., Kostylev V.A., Levchuk A.V., Dolgushin B.I., Tkachev S.I., Shir'yayev S.V. Radiation Safety in Medical Radiology. Part 2. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2009;54;3:46-57 (In Russ.). EDN TEAELV.
12. Matkevich Ye.I., Sinityn V.Ye., Zelikman M.I., Kruchinin S.A., Ivanov I.V. Main Directions of Reducing Radiation Doses to Patients during Computed Tomography. REJR 2018;8;3: 60-73 (In Russ.). doi: 10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73.
13. Gombolevskiy U.A., Chernina V.Yu., Blokhin I.A., Nikolayev A.Ye., Barchuk A.A., Morozov S.P. Main Achievements of Low-Dose Computed Tomography in Lung Cancer Screening. *Tuberkulez i Bolezni Legkikh* = Tuberculosis and Lung Diseases. 2021;99;1:61-70 (In Russ.). doi: 10.21292/2075-1230-2021-99-1-61-70.

14. Zolotnitskaya V.P. 100 Years of Development of Radionuclide Diagnostics. Study of Pulmonary Microcirculation. *Regionarnaya Gemodinamika i Mikrotsirkulyatsiya* = Regional Blood Circulation and Microcirculation. 2024;23;4: 139–148 (In Russ.). doi.org/10.24884/1682-6655-2024-23-4-139-148
15. Bereznikov A.V., Shkitin S.O., Tyurin I.Ye. Possibilities of Chest Radiography in Primary Diagnostics of Lung Cancer. *Zhurnal Radiologii i Yadernoy Meditsiny* = Radiology and Nuclear Medicine. 2024;105;3:149–155 (In Russ.). doi: 10.20862/0042-4676-2024-105-3-149-155.
16. Ladak A.A., Sandhu S., Itrat A. Use of Intravenous Thrombolysis in Acute Ischemic Stroke Management in Patients with Active Malignancies: A Topical Review. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2021;30;6:105728. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.105728.
17. Slart R.H., Bax J.J., van Veldhuisen D.J., van der Wall E.E., Dierckx R.A., Jager P.L. Imaging Techniques in Nuclear Cardiology for the Assessment of Myocardial Viability. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2006;22;1:63-80. doi:10.1007/s10554-005-7514-8 .
18. Medical Advisory Secretariat. Magnetic Resonance Imaging (MRI) for the Assessment of Myocardial Viability: an Evidence-Based Analysis. *Ont Health Technol Assess Ser.* 2010;10;15: 1-45.
19. Usov V.Yu., Babikov V.Yu., Minin S.M., Sukhov V.Yu., Kostenikov N.A., Luchich M.A., Samoylova Ye.A., Zheravin A.A., Chernyavskiy A.M. Quantitative SPECT of the Brain with ^{99m}Tc-Techne-trile in Diagnostics, Evaluation of the Effectiveness of Complex Therapy of Low-Grade Gliomas and Prognosis of Patients' Life. *Rossiyskiy Neyrokhirurgicheskiy Zhurnal Im. Professora A.L. Polenova* = Russian Neurosurgical Journal Named after Professor A.L. Polenova.. 2023;15;C1:26-27. EDN QGPXKZ.
20. Scopinaro F., Schillaci O., De Vincentis G., Danieli R., Ierardi M, Picardi V, Tavolaro R, Colella AC, Ussov W, Nordling K, Capoferro R.A. A Three Center Study on the Diagnostic Accuracy of ^{99m}Tc-MIBI Scintimammography. *Anticancer Research.* 1997;17;3B:1631-1634. EDN LEJMJT.
21. Zhang S., Liu Y. Diagnostic Performances of ^{99m}Tc-Methoxy Isobutyl Isonitrile Scan in Predicting the Malignancy of Lung Lesions: A Meta-Analysis. *Medicine (Baltimore).* 2016;95;18: e3571. doi: 10.1097/MD.00000000000003571.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках Государственного Задания №123030900018-1 Минздрава России.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 20.07.2025. Принята к публикации: 25.08.2025.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study was carried out as part of State Assignment No. 123030900018-1 of the Russian Ministry of Health.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 20.07.2025. Accepted for publication: 25.08.2025.